

## INFLUÊNCIA DA CARGA ALCALINA NO PROCESSO DE POLPAÇÃO LO-SOLIDS PARA MADEIRA DE EUCALIPTO

**The influence of alkali charge on lo-solids pulping process for  
eucalyptus woods**

---

*Fábio Sérgio de Almeida (Ripasa Celulose e Papel – Americana), Francides Gomes  
da Silva Júnior (Universidade de São Paulo – Piracicaba)*



**ABTCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL**  
Rua Zequinha de Abreu, 27 - Pacaembu  
São Paulo - SP - Brasil - CEP 01250-050  
Fone: 11 3874-2700 - Fax: 11 3874-2730  
e.mail: [abtcp@abtcp.org.br](mailto:abtcp@abtcp.org.br)  
[www.abtcp.org.br](http://www.abtcp.org.br)

# **Influência da Carga Alcalina no Processo de Polpação Lo-Solids®**

## **Para Madeiras de Eucalipto.**

Fábio Sérgio de Almeida – Ripasa Celulose e Papel – Americana – São Paulo – Brasil.

Francides Gomes da Silva Júnior – Universidade de São Paulo – Piracicaba - São Paulo – Brasil.

### **Resumo**

O presente trabalho teve por objetivo estudar a influência da carga alcalina no processo de polpação kraft modificado Lo-Solids para madeiras de Híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* com 7 anos e densidade básica de 500 e 560kg/m<sup>3</sup>. Foram aplicadas dosagens de álcali ativo como Na<sub>2</sub>O de 13%, 15%, 17%, 19%, 21%, 23%, 25%, 27% e sulfidez de 30%. Os resultados obtidos indicam que variando a carga alcalina no processo de polpação é possível obter polpa não branqueada apresentando valores de kappa de 8 a 30, rendimento depurado de 46 a 53%, viscosidade de 10 a 80 cP, solubilidade em NaOH 5% (S5) de 7 a 13%, teor de pentosanas de 11 a 16% e ácidos hexenurônicos de 10 a 65 μ mol/g, podendo ainda este último parâmetro ser controlado através do nível de deslignificação da polpa, tendo em vista a influência dos mesmos na fase de branqueamento. O aumento da carga alcalina nos cozimentos proporcionou também maior geração de finos e, conseqüentemente, menor comprimento médio ponderado de fibras e espessura de parede. Embora os materiais estudados apresentassem diferentes valores de densidade básica, os resultados de polpação obtidos foram semelhantes, indicando que ambas matérias-primas podem ser empregadas na obtenção de polpa celulósica e que o processo de cozimento Lo-Solids® apresenta-se pouco sensível ao parâmetro densidade básica, o que está associado à boa impregnação dos cavacos correspondente à etapa de impregnação. A polpa obtida a partir do híbrido de maior densidade apresentou fibras com maior espessura de parede, coarseness e menor número de fibras por grama quando comparado ao híbrido de menor densidade.

## Abstract

The main objective of this work was to study the influence of the alkali charge on Lo-Solids® cooking process. Woods from hybrids of *E. grandis* x *E. urophylla* 7-year-old with basic density of 0,499 and 0,559g/cm<sup>3</sup> were evaluated and the pulping process was conducted applying active alkali charge (as Na<sub>2</sub>O) of 13%, 15%, 17%, 19%, 21%, 23%, 24%, 25%, 27% and sulfidity of 30%. The results showed that varying the alkali charge is possible to obtain unbleached pulp with kappa number from 8 to 30, pulp yield from 46 to 53%, viscosity from 10 to 80cP, alkali solubility (S5) from 7 to 13%, pentosans content from 11 to 16% and hexenuronic acids content from 10 to 65µmol/g. It was verified that the higher is the alkali charge the higher is the fines generation leading to a decreased of fiber length and the cell wall thickness. Although the hybrids studied presented different wood basic density, the pulping results obtained were not different showing that both raw-materials could be used to pulp production with Lo-Solids® pulping process, which seems not to be so affect by wood basic density. The pulp obtained from hybrid with higher basic density showed higher cell wall thickness, higher fiber coarseness and lower number of fibers per gram than the hybrid with lower basic density.

**Palavras-chave:** eucalipto, densidade básica, polpação, polpação Kraft, álcali, número kappa, rendimento, deslignificação, seletividade, carboidratos, comprimento de fibra, finos, Lo-Soldis, viscosidade, ácido hexenurônico.

**Word keys:** eucalyptus, wood density, pulping, Kraft pulping, alkali, kappa number, yield, delignification, selectivity, carbohydrates, fiber length, fines, Lo-Solids, viscosity, hexenuronic acid.

## 1. INTRODUÇÃO

Os estudos de polpação buscam compreender o efeito das propriedades da madeira e das condições do processo de polpação sobre a qualidade da fibra, visando, principalmente, fornecer subsídios aos programas de melhoramento florestal e também a indústria para a definição de estratégias de processamento ou ainda para a compreensão do comportamento das variáveis do processo produtivo. Dentro desse contexto, o presente trabalho teve por objetivo estudar a influência da carga alcalina no processo de polpação Lo-Solids® para híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* com diferentes densidades básicas, com enfoque nas características da polpa celulósica.

## 2. Materiais e Métodos

Foram utilizados 2 clones de *E. grandis* x *E. urophylla* com 7 anos de idade obtidos em plantio experimental da Votorantim Celulose e Papel. Amostrou-se 10 árvores dos materiais genéticos P4299 e C085 e utilizando-se um picador de laboratório modelo Demuth obteve-se os cavacos, os quais foram classificados em laboratório, sendo descartados os cavacos retidos na peneira 1 1/8 polegadas e os que ultrapassaram a peneira de 3/16 polegadas, respectivamente os “oversizes” e finos.

As características da madeira (composição química), dos cozimentos (rendimento total e depurado - 0,2mm) e das polpas (lignina residual, número kappa, viscosidade, dimensões das fibras) foram avaliadas de acordo com as metodologias TAPPI. A densidade básica da madeira foi determinada de acordo com metodologia descrita por Foelkel, Brasil & Barrichello, o teor de ácidos hexenurônicos de acordo com a metodologia proposta por Chai e os carboidratos via HPLC utilizando-se o sistema Dionex DX500.

Os cozimentos Kraft modificado Lo-Solids® foram realizados em triplicatas utilizando-se um digestor modelo M&K interligado a um conjunto de vasos e bombas dosadoras, conforme condições expressas nas tabelas 1 e 2:

Tabela 1. Condições dos cozimentos.

Parâmetro	Condição
Quantidade de cavacos	800g
Relação licor madeira	4:1
Álcali ativo (Na <sub>2</sub> O)	13, 15, 17, 19, 21, 23, 25 e 27
Sulfidez	30,0%

Tabela 2. Tempo, temperatura e distribuição da carga alcalina.

Fases	Tempo, min.	Temperatura, °C	Distribuição Carga Alcalina, %
Pré-vaporização	15	100	-
Impregnação	40	120	50
Substituição	90	158	35
Cozimento	70	158	-
Lavagem	200	158	15

### 3. Resultados e Discussão

Na tabela 3 são apresentadas as principais características das madeiras utilizadas neste trabalho.

Tabela 3. Wood characteristics for the materials studied

	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> P4299			<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> C085		
	Average	S.D.	C.V.	Average	S.D.	C.V.
Wood density (g/cm <sup>3</sup> )	0,499	0,0121	2,43	0,559	0,0123	2,20
Total lignin (%)	28,81	0,97	3,36	29,33	1,08	3,67
Cellulose and hemicellulose (%)	68,81	1,20	1,75	68,15	1,23	1,80
Extractives (%)	2,30	0,44	18,94	3,02	0,75	24,78
Acetyl groups (%)	3,29	0,14	4,33	3,39	0,17	5,13
Glucuronic acid (%)	1,48	0,07	4,84	1,55	0,08	5,41
Glucan (%)	45,10	1,67	3,71	45,83	0,92	2,01
Xilan (%)	12,94	0,38	2,95	13,02	0,31	2,41
Arabinan (%)	0,19	0,04	23,11	0,21	0,07	34,17

À exceção da densidade básica, os materiais estudados apresentam características semelhantes e típicas para as madeiras em questão normalmente utilizadas para produção de polpa celulósica.

No processo kraft de polpação o número kappa é um parâmetro importante uma vez que está diretamente relacionado ao rendimento e é um indicativo da quantidade de lignina presente na polpa, o que para polpas branqueáveis determina a estratégia envolvida na fase de branqueamento. Características da madeira como teor de lignina, teor de extrativos, densidade básica e a espessura dos cavacos influenciam diretamente o número kappa da polpa. A carga alcalina aplicada e o fator H são os principais parâmetros do processo de polpação kraft utilizado para controle das oscilações devido a matéria-prima, visando manter relativamente constante o nível de deslignificação da polpa.

Nota-se pela figura 1 que os valores de kappa são ligeiramente superiores para o híbrido C085, principalmente para as dosagens de álcali inferior a 19% de álcali ativo e número kappa maior que 14. Tal comportamento desse material deve-se, possivelmente, ao maior valor de densidade básica do mesmo, o que pode ter oferecido maior resistência à impregnação dos cavacos pelo licor de cozimento e diminuído o nível de deslignificação.

O número kappa é influenciado pelo teor de ácidos hexenurônico da polpa. Os ácidos hexenurônicos consomem o permanganato de potássio, reagente utilizado na determinação do número kappa da polpa, contribuindo dessa forma para um incremento no valor do número kappa. Alguns estudos sugerem alguns fatores de conversão para o cálculo do número kappa corrigido, sendo comum utilizar o fator proposto por Li (1997), no qual uma unidade de número kappa corresponde a 11,9 mmol de Ahexs/kg de polpa.

Os resultados da Figura 1 mostram diferenças significativas entre os valores de kappa da polpa sem e com a correção, evidenciando a importância da quantificação dos ácidos hexenurônicos na definição de estratégias na fase de branqueamento, tendo em vista a influência desses compostos na fase de branqueamento, consumindo os reagentes químicos como o cloro, dióxido de cloro, ozônio, ligando-se a íons metálicos e causando reversão de alvura de polpas branqueadas.

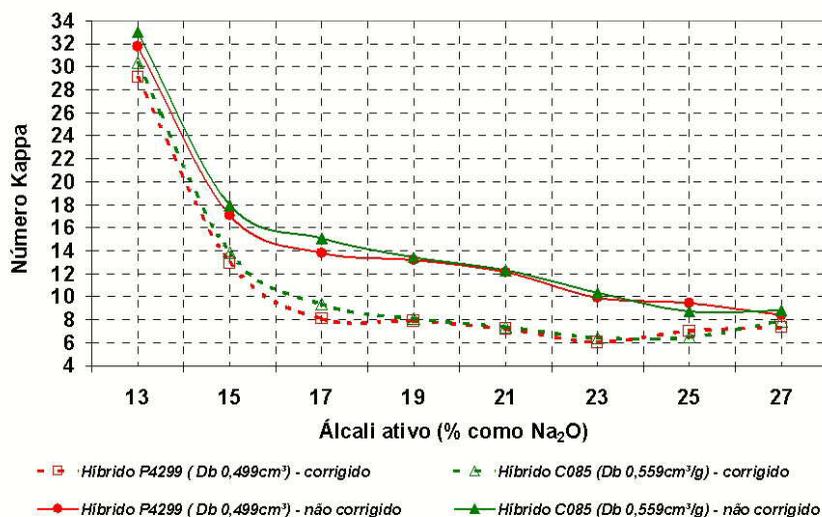


Figure 1 – Número kappa (corrigido e não corrigido) x álcali ativo

Considerando que o valor de kappa corrigido representa apenas o teor de lignina ainda presente na polpa, observa-se pela figura 1 que o aumento da carga alcalina acima de 20% não proporciona incremento da eficiência da deslignificação. Observa-se também que o parâmetro kappa corrigido apresenta perfil similar ao obtido para o teor de lignina em função da carga de álcali da aplicada, conforme mostra a figura 2.

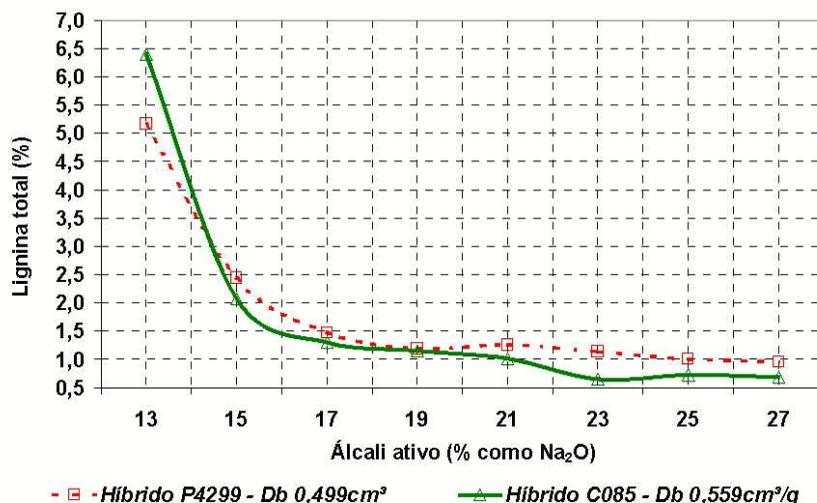


Figure 2 – Lignina total x álcali ativo

A Figura 3 mostra o efeito da carga alcalina aplicada sobre o rendimento depurado do processo de polpação para os materiais P4299 e C085. Considerando-se a relação inversa entre número kappa e rendimento depurado, os resultados apresentados na figura 3 indicam que para os materiais considerados neste estudo, para valores de número kappa superiores a 20 não há aumento da eficiência de deslignificação, porém há uma redução significativa do rendimento depurado.

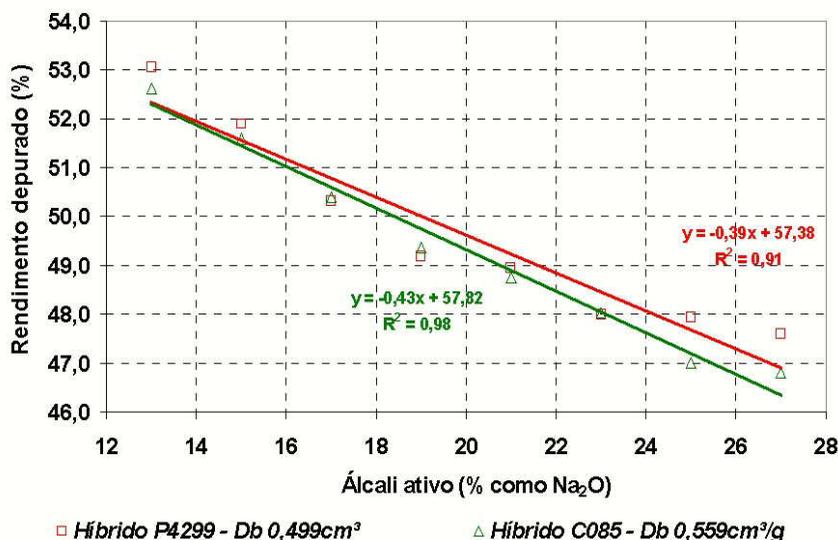


Figure 3 – Rendimento depurado (% de madeira) x álcali ativo

Nota-se pelos resultados obtidos uma redução significativa do rendimento depurado à medida que se aumenta a carga alcalina do processo de polpação. Tal comportamento está associado à perda de carboidratos, principalmente os polissacarídeos de baixo peso molecular, ocasionado pelas reações de degradação e dissolução dos mesmos.

O rendimento depurado é um parâmetro extremamente importante para a fabricante de polpa celulósica tendo em vista os aspectos econômicos relacionados ao consumo de madeira, uma vez que a matéria-prima é responsável pela maior parte do custo de produção da polpa.

Além do aspecto negativo relacionado ao maior consumo específico de madeira devido ao menor rendimento, baixo rendimento gera também maior teor de sólidos no licor, podendo resultar numa menor taxa de produção, caso a caldeira de recuperação esteja trabalhando em seu limite de projeto.

O número kappa e o rendimento depurado são parâmetros de processo diretamente relacionados. A Figura 4 mostra o efeito do nível de deslignificação (número kappa) sobre o rendimento depurado do processo de polpação para os materiais P4299 e C085.

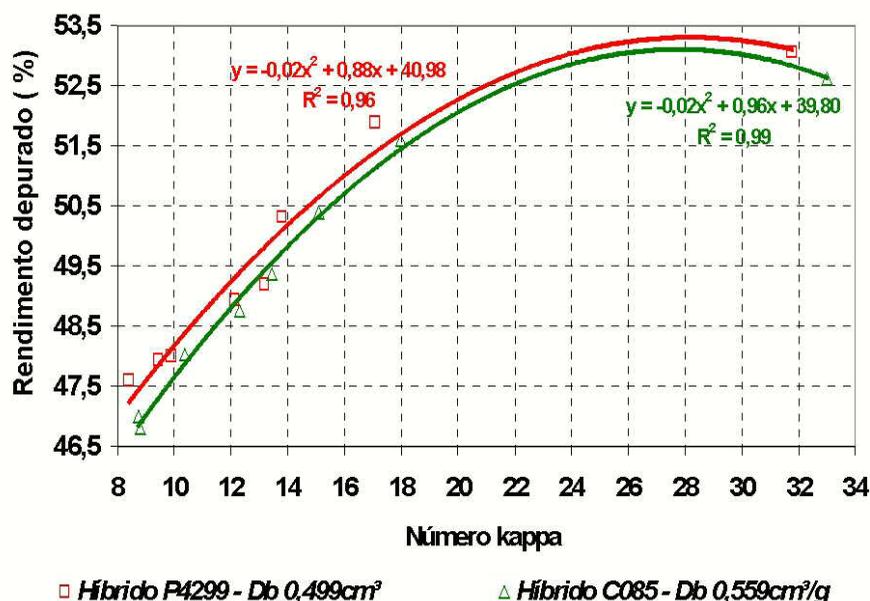


Figure 4 – Rendimento depurado (% de madeira) x álcali ativo x número kappa

Nota-se pela Figura 4 que para valores de número kappa menor igual a 18 tem-se praticamente um efeito linear do número kappa sobre o rendimento depurado do processo de polpação, evidenciando a importância da não avaliação isolada de parâmetros como rendimento, carga alcalina aplicada e, conseqüentemente, nível de deslignificação. Já para valores de número kappa em torno de 30 tem-se também uma redução do rendimento depurado devido a maior geração de rejeitos, os quais estão associados à baixa carga de álcali aplicada no cozimento. Verificam-se também valores semelhantes para os materiais P4299 e C085, os quais possivelmente estão associados à semelhança de composição química entre os materiais.

A viscosidade da polpa celulósica é um parâmetro amplamente utilizado para controle da qualidade da polpa nas diferentes fases do processo de produção. O parâmetro viscosidade da polpa está associado com o grau médio de polimerização e do correspondente peso molecular dos polímeros de celulose e hemiceluloses, sendo essa medida utilizada para estimar indiretamente o grau de polimerização e o nível de degradação dos carboidratos durante as fases do processo de obtenção da polpa celulósica.

A Figura 5 apresenta os valores de viscosidade obtidos para os dois materiais estudados quando submetidos às diferentes dosagens de álcali ativo.

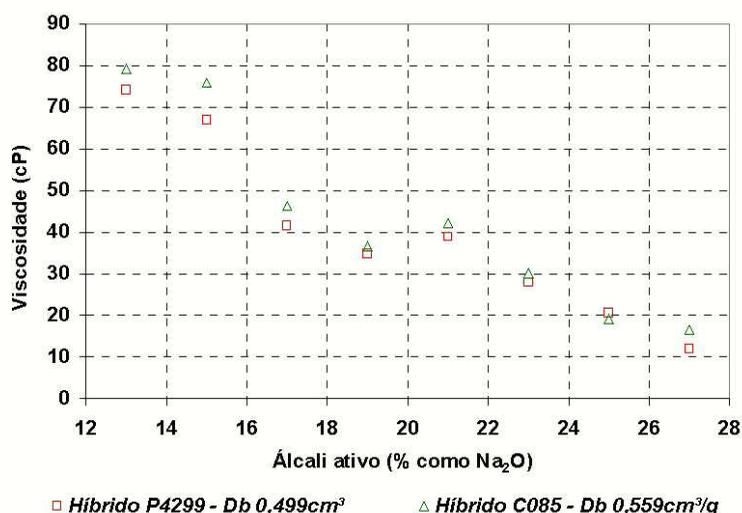


Figure 5 – Viscosidade x álcali ativo

Observa-se pela Figura 5 que para a carga alcalina entre 17% e 21% não se verifica redução no valor de viscosidade da polpa, podendo essa ser uma região de transição. Uma hipótese seria que, embora para essa amplitude de álcali haja remoção de polímeros de baixo peso molecular, tem-se a preservação dos polissacarídeos de alto peso molecular (celulose), o que permite manter o grau de polimerização médio dos carboidratos e a viscosidade da polpa. Esses resultados, se confirmados em estudo mais detalhado, podem ser interessantes na produção de polpa para fins sanitários, pois indica um limite de carga alcalina e nível de designificação para o qual é possível remover as hemiceluloses da polpa sem comprometer a viscosidade da mesma. Nota-se pela Figura 5 uma redução significativa do valor de viscosidade da polpa para dosagens de álcali ativo superior a 21%, indicando degradação dos polissacarídeos, podendo com isso produzir polpas com menores propriedades de resistência física.

A Figura 6 apresenta os teores de ácidos hexenurônicos da polpa obtidos para os materiais P4299 e C085 quando submetidos as diferentes dosagens de álcali ativo.

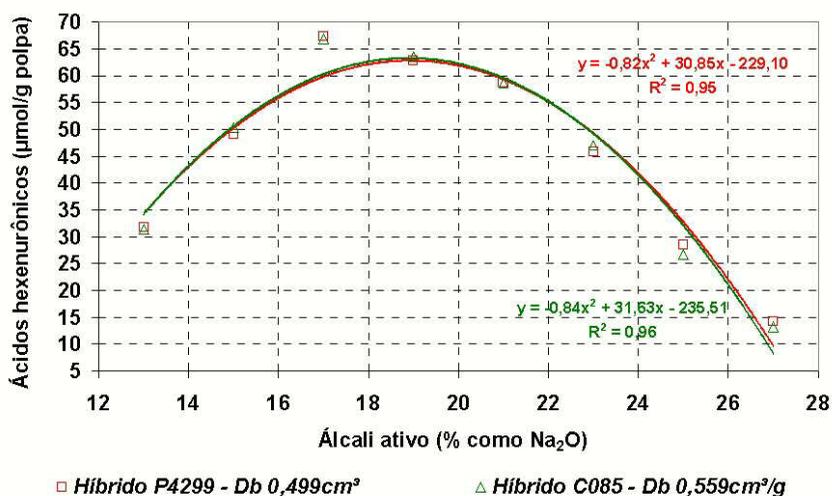


Figure 6 – Teor de ácidos Hexenurônicos x álcali ativo

Os resultados da Figura 6 mostram que a formação dos ácidos hexenurônicos é influenciada pelo nível de álcali utilizado no cozimento, confirmando os resultados obtidos por Chai (2001), quando descrevem que a carga alcalina e o fator H são as principais variáveis que influenciam na formação dos ácidos hexenurônicos durante a polpação kraft.

Nota-se pela Figura 6 um aumento de mais de 100% no teor de ácidos hexenurônicos da polpa quando a carga alcalina aumenta de 13% para 17%. Já para carga alcalina superior a 17% de álcali ativo observa-se uma redução significativa dos ácidos hexenurônicos da polpa, possivelmente devido às dissoluções das hemiceluloses e degradação dos ácidos hexenurônicos.

O número kappa da polpa, conforme já mencionado, é um parâmetro que define estratégias envolvidas na fase de branqueamento como carga de reagentes químicos, número de estágios, seqüência a ser empregada. Por essa razão é importante analisar a relação existente entre número kappa e teor de ácidos hexenurônicos da polpa, tendo em vista a influência desses ácidos sobre a fase de branqueamento, conforme já discutido.

A Figura 7 mostra a correlação número kappa e teor de ácidos hexenurônicos da polpa para os dois materiais estudados quando submetidos às diferentes dosagens de álcali ativo.

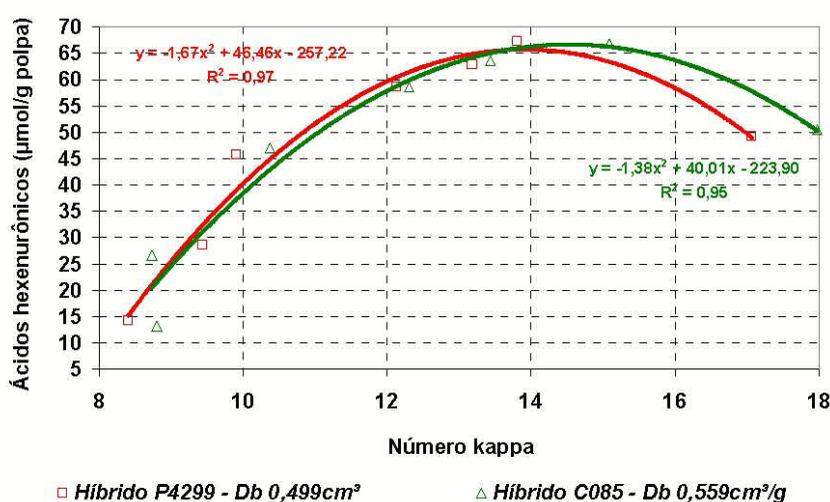


Figure 7 - Teor de ácidos Hexenurônicos x número kappa

Nota-se pela Figura 7 que a quantidade de ácidos hexenurônicos dá-se também em função do número kappa da polpa, tendo em vista a própria associação deste último parâmetro com a carga alcalina aplicada no processo de polpação e, conseqüentemente, o nível de deslignificação da polpa.

Os resultados mostram que o teor de ácidos hexenurônicos da polpa celulósica reduz significativamente para valores de número kappa inferiores a 13, o que está relacionado à degradação dos mesmos pela dosagem de álcali, conforme já discutido. Observa-se que o teor de ácidos hexenurônicos aumenta quando o número kappa da polpa varia entre 12 e 15, alcançando um ponto de máximo para valor de kappa de aproximadamente 15. Para valores de kappa acima de 16 tem-se uma redução do teor de ácidos hexenurônicos da polpa, o que está relacionado ao menor nível de álcali aplicado no cozimento. Os resultados obtidos são semelhantes aos obtidos por Ek et al. (2001), quando estudaram a polpação kraft convencional para *E. globulus*.

O teor de ácidos hexenurônicos em polpa kraft de fibra curta (*Liquidambar Styraciflua*) obtida a partir de diferentes níveis de deslignificação decresce rapidamente quando a deslignificação é conduzida até número kappa inferior a 14 Chakar et al. (2000).

As hemiceluloses são importantes compostos químicos presentes na polpa final. A presença das mesmas, dentro de certos limites, aumenta a facilidade de refinação das fibras e melhoram também as propriedades físicas do papel. No processo de refino a fibra recebe um tratamento mecânico, o qual causa a remoção da parede primária das fibras e permite a hidratação das mesmas, aumentando com isso a flexibilidade e o poder de ligação das fibras e, conseqüentemente, as propriedades de resistência física do papel.

Figura 8 mostra o percentual de xilanas removido da madeira durante o processo de polpação para as diferentes dosagens de álcali ativo.

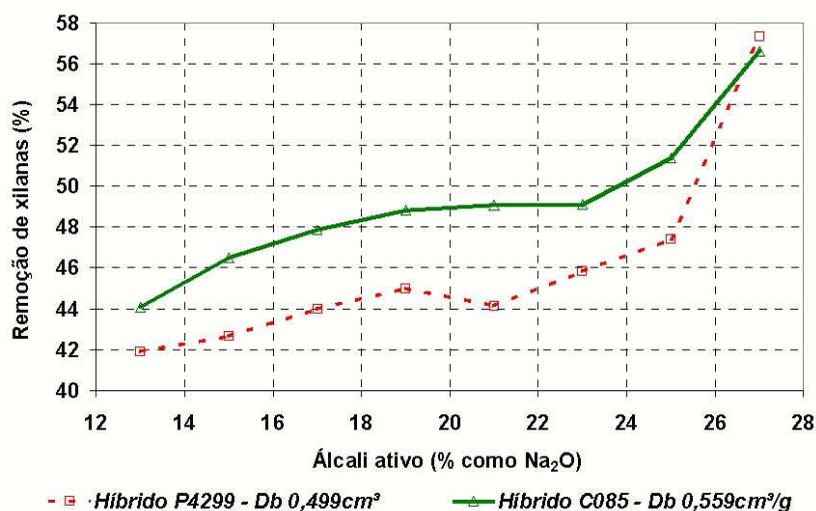


Figure 8 – Remoção de xilanas x álcali ativo

Nota-se pela Figura 8 que para uma carga alcalina aplicada de 15% álcali ativo e número kappa em torno de 17, tem-se a remoção de mais de 40% das xilanas da madeira, evidenciando a maior sensibilidade dos polissacarídeos de baixo peso molecular ao aumento da carga alcalina.

A Figura 9 apresenta o percentual de glucanas removido durante o processo de polpação para os materiais estudados.

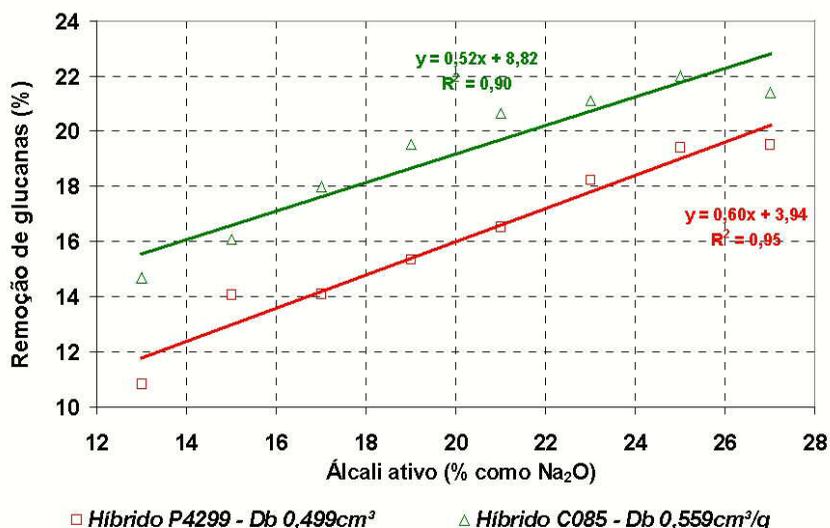


Figure 9 – Remoção de glucanas x álcali ativo

Apesar da glucanas serem menos sensíveis à carga alcalina que as xilanas, nota-se uma remoção das mesmas da polpa com o aumento da carga alcalina do processo de polpação. Tal comportamento ocorre devido às reações de despolimerização terminal e também hidrólise dos polímeros de celulose, estando esses resultados de acordo com os menores valores de rendimento e também de viscosidade em decorrência do incremento na dosagem de álcali, conforme observado anteriormente.

A Figura 10 apresenta o percentual de grupo glucoronil removido durante o processo de polpação para os materiais P4299 e C085.

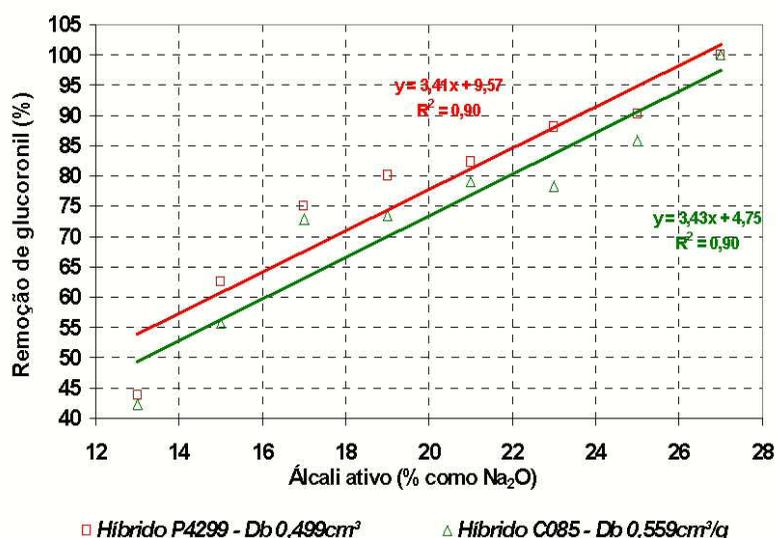


Figure 10 – Remoção de glucoronil x álcali ativo

Os resultados da Figura 10 indicam que os grupos glucoronil são também sensíveis à dosagem de álcali, sendo mais de 70% dos mesmos removidos para uma carga alcalina de 17%, o que está possivelmente associado à degradação dos carboidratos.

As análises de dimensões das fibras da polpa não-branqueada foram obtidas empregando-se o equipamento kajaani. Não foram realizadas análises nos tratamentos com 13% de álcali ativo, uma vez que essa carga de álcali foi insuficiente para efetuar por completo o processo de deslignificação, ou seja, muitos materiais não cozidos foram verificados, mesmo após o processo de depuração.

Nota-se, após os cozimentos, algumas diferenças com relação às dimensões de fibras para os materiais genéticos estudados, diferenças essas que não foram detectadas durante a fase de caracterização dos mesmos, uma vez as medições via microscopia óptica, ao contrário do equipamento kajaani, contempla somente fibras não fragmentas (interiras).

A figura 11 apresenta o comprimento médio ponderado de fibras da polpa não-branqueada para os dois híbridos *E. grandis* x *E. urophylla* quando submetidos aos diferentes tratamentos.

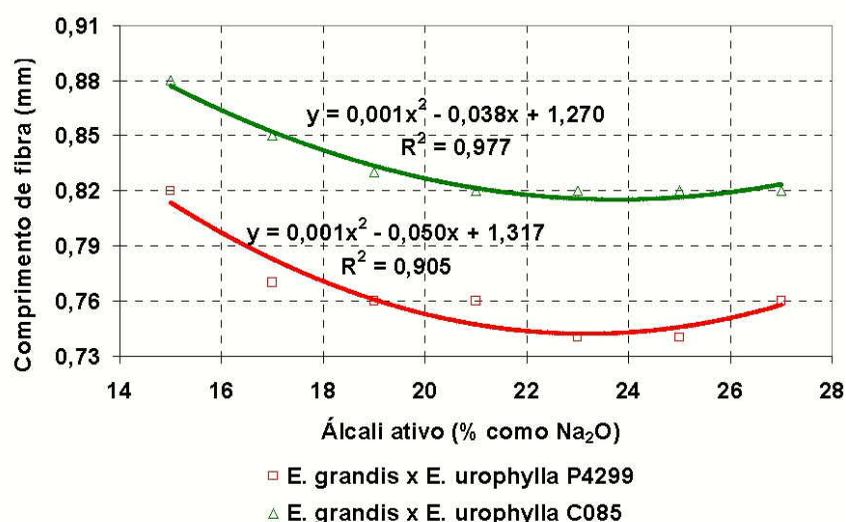


Figura 11 - Comprimento médio ponderado de fibras x álcali ativo.

A flexibilidade das fibras influencia praticamente todas as propriedades do papel e, embora o comprimento de fibra não seja a única variável que afeta a flexibilidade da fibra, a maioria dos autores concorda que fibras mais longas são menos flexíveis. Já quanto ao efeito do comprimento de fibra sobre a resistência ao rasgo os pesquisadores são unânimes, ou seja, quanto maior comprimento de fibra maior será a resistência do papel ao rasgo.

Os resultados da Figura 11 indicam que o híbrido C085 apresenta maior comprimento médio de fibras quando comparado ao híbrido P4299. Esses resultados estão de acordo com os observados por Foelkel al. (1992), quando então o autor verificou que madeiras mais densas apresentam também maior comprimento médio de fibra, devido à atividade cambial das células. Já Carpim et al. (1987) descreve que a densidade básica da madeira exerce pouca influência sobre o comprimento e o coarseness das fibras.

Notas-se também uma redução no comprimento médio de fibras para os dois materiais genéticos à medida que ocorre o incremento do álcali ativo dos tratamentos, Não é de se esperar um efeito negativo do álcali sobre ao comprimento de fibra, porém são raros os estudos explorando um nível de deslignificação tão elevado como no presente trabalho. A carga alcalina, quando em excesso, pode atingir regiões susceptíveis das células e promover a fragmentação das mesmas, proporcionando com isso alterações nas dimensões.

A redução do comprimento de fibra em função da carga alcalina aplicada pode ser explicada pelos valores de finos encontrados na polpa, conforme mostra a figura 12 a seguir:

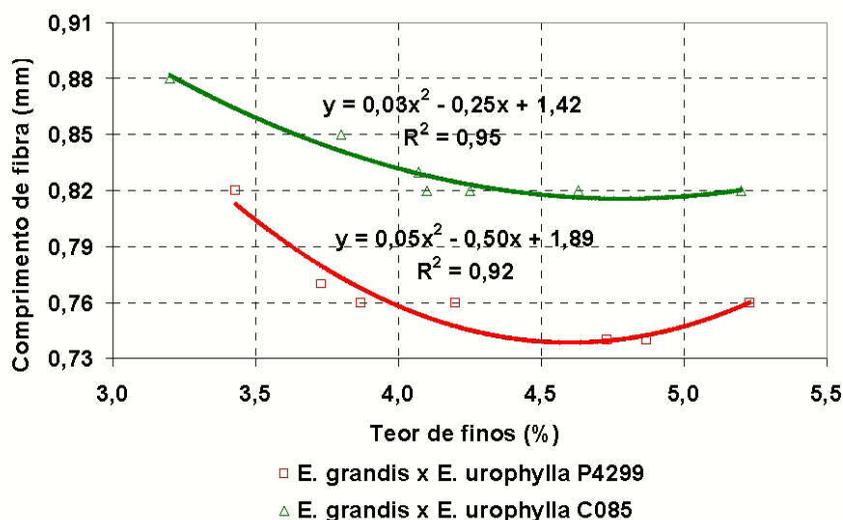


Figura 12 - Comprimento médio ponderado de fibras x teor de finos da polpa.

Na figura 13 são apresentados os resultados de largura de fibra para as polpas obtidas quando submetidas as diferentes dosagens de álcali ativo.

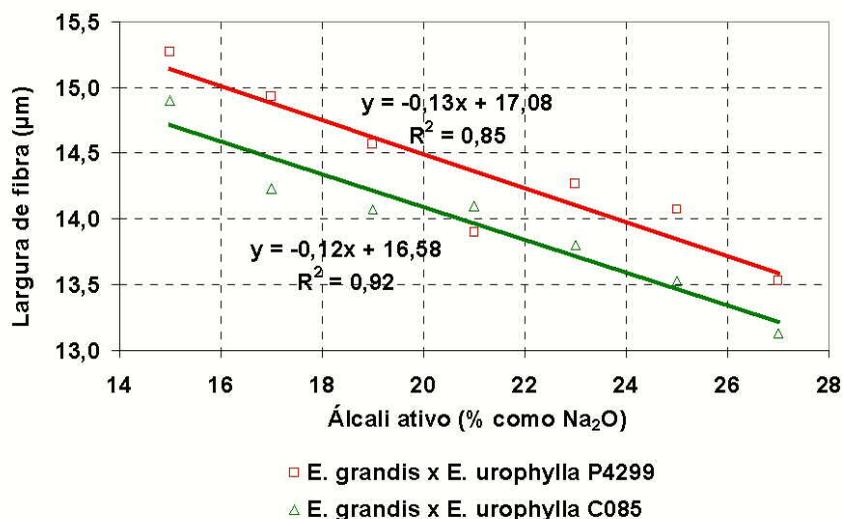


Figura 13 - Largura de fibra x álcali ativo.

Nota-se pela figura 13 a redução da largura da fibra para os dois materiais genéticos estudados quando submetidos as diferentes cargas de álcali ativo. Os resultados estão também consoantes com os obtidos para a espessura de parede, ou seja, a redução da largura de fibra em função da carga alcalina dá-se devido à própria redução da espessura de parede.

Verifica-se também que o híbrido P4299 apresenta largura de fibras um pouco superior ao híbrido C085, comprovando os valores encontrados na avaliação da dimensão de fibras da madeira, ao quais podem estar associados à atividade biológica desses materiais genéticos.

A figura 14 apresenta os valores de espessura de parede da fibra obtidos para os híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* estudados quando submetidos aos diferentes tratamentos.

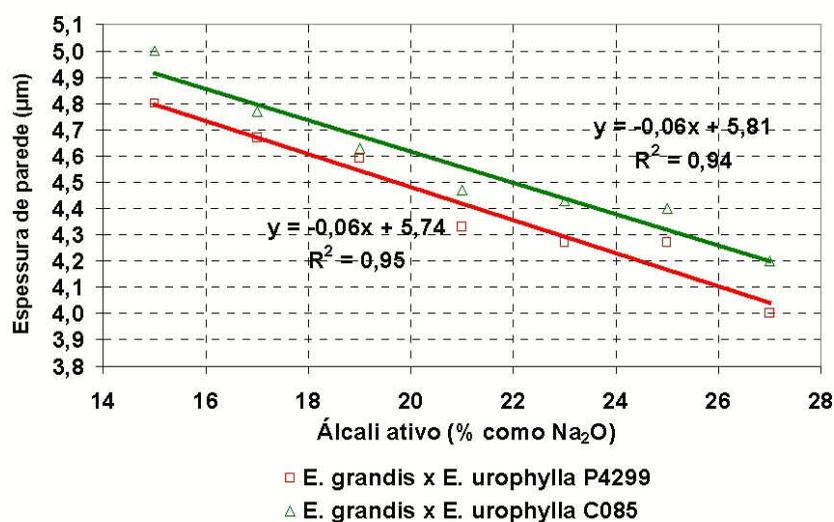


Figura 14 - Espessura de parede da fibra x álcali ativo.

Fibras mais espessas quando submetidas a um mesmo nível de refino apresenta maior resistência à ação de forças de consolidação durante a formação da folha de papel, resultando em papel menos resistente, com uma estrutura mais aberta, com maior volume específico ("bulk") e porosidade. Madeiras mais densas apresentam também fibras menos flexíveis, em consequência da maior espessura de parede, uma vez que esse parâmetro é governado, principalmente, pela densidade básica da madeira.

Os resultados de espessura de parede obtidos para os materiais genéticos avaliados estão de acordo com o esperado, ou seja, maior espessura de parede para o híbrido C085 devido à própria correlação existente entre densidade básica e a espessura de parede, conforme consta na revisão de literatura. Os resultados obtidos evidenciam também a redução da espessura de parede com o aumento da carga alcalina aplicada para os dois materiais genéticos avaliados.

Não se verificou efeito da carga alcalina aplicada sobre o diâmetro de lume das fibras, indicando que as alterações com relação à dimensão ocorrem em áreas externas da fibra.

O híbrido P4299 apresenta menor diâmetro do lume quando comparado ao híbrido C085. Isso pode ser explicado devido a menor densidade básica apresentada pelo material genético P4299, uma vez que o mesmo apresenta ainda menor largura de fibra quando comparado ao híbrido C085.

A figura 15 apresenta os valores de coarseness de fibras das polpas celulósicas obtidas nos diferentes tratamentos.

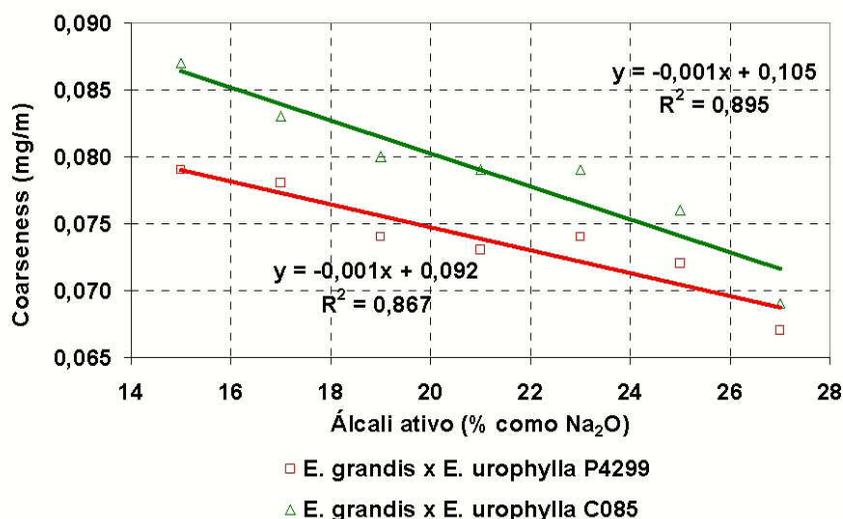


Figura 15 - Coarseness de fibra x álcali ativo.

O coarseness representa o peso por metro de fibras (mg/m) dispostas de forma alinhadas. Este parâmetro é dependente do diâmetro da fibra, da largura e da densidade da parede celular das fibras. Portanto, o aumento dessas dimensões das fibras proporciona maior peso por unidade de comprimento, ou seja, maior coarseness. Segundo Carpim et al. (1987), fibras com maior espessura de parede proporcionam, conseqüentemente, maior volume específico e também maior opacidade da folha de papel.

Estudos conduzidos por Demuner al. (1991) evidenciam a influência da densidade básica sobre o coarseness das fibras. Os resultados obtidos por esse autor mostram que madeiras de maior densidade básica têm fibras com maior coarseness devido, principalmente, a maior espessura de parede; estando esses resultados consoantes com os resultados obtidos para o híbrido C085.

Os resultados obtidos no presente estudo mostram também que quanto maior a carga alcalina aplicada (álcali ativo) menor é o valor de coarseness obtidos para os dois materiais genéticos estudados. Esses resultados estão também de acordo também com o descrito por Edvins & Foelkel (1996), quando relatam que o coarseness de polpas químicas dependem do coarseness do tipo de madeira e da intensidade do rendimento do processo de deslignificação. Esses autores descrevem o menor rendimento do processo de polpação diminui o coarseness devido à remoção dos constituintes da parede celular, conforme mostra a figura 16 a seguir e comprovando também as os resultados obtidos para o comprimento e espessura de fibra em função a carga alcalina paliçada.

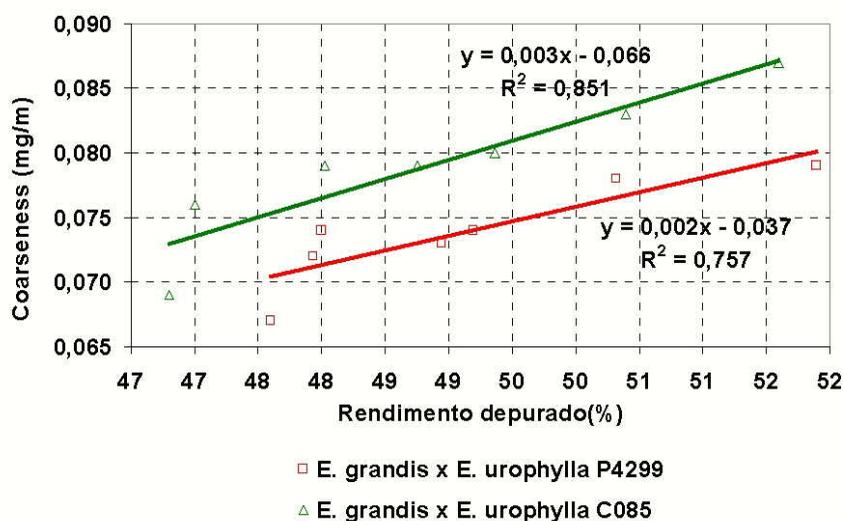


Figura 16 - Coarseness de fibra x rendimento depurado.

A figura 17 mostra o número de fibras por grama de polpa celulósica dos tratamentos realizados.

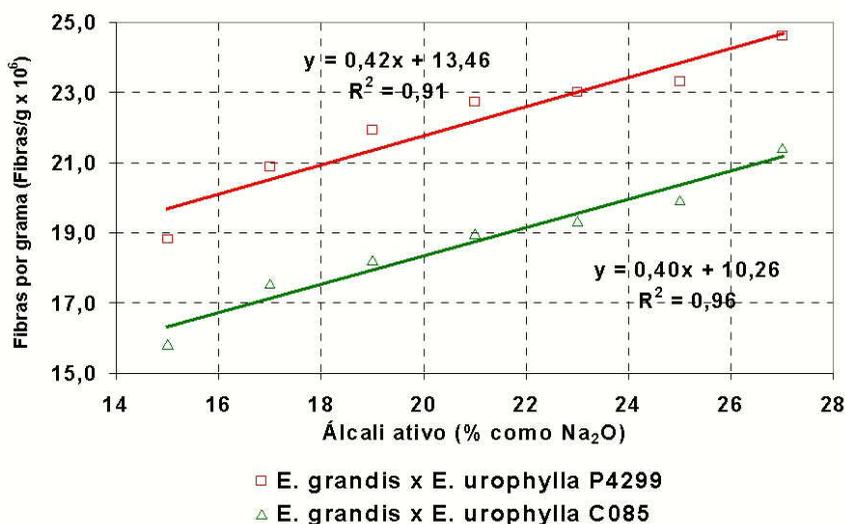


Figura 17 - Número de fibras por grama de polpa x álcali ativo.

O número de fibras por grama, além de influenciar de forma direta a formação do papel, o mesmo tem importância significativa na resposta da polpa ao tratamento de refinação e também influência a conformabilidade das fibras na folha de papel. A densidade aparente, o índice de tração, índice de estouro e a porosidade da folha de papel são propriedades que dependem fortemente do grau de interligação (pontos de contato) das fibras, mostrando uma correlação muito forte com a flexibilidade das fibras e também com o número de fibras por grama de polpa. Polpas com maior número de fibras por grama apresentam também maior área de exposição das fibras e mais interfaces fibra-ar, aumentando com isso o espalhamento da luz e a opacidade do papel.

Polpa celulósica com maior número de fibras por grama, associado normalmente à madeira de menor densidade básica, produzem folhas com maior volume específico (“bulk”) e maior opacidade. Porém esse tipo de polpa desenvolve facilmente propriedades físico-mecânicas quando submetidas ao processo de refino. Portanto, o maior volume específico apresentado inicialmente pela fibra, assim como a opacidade da folha; propriedades associadas ao maior número de fibras por grama, podem ser comprometidos facilmente durante o processo de fabricação do papel.

Como o coarseness de fibras é um parâmetro inversamente proporcional ao número de fibras por grama de polpa, portanto era de se esperar um comportamento oposto para o número de fibras por gramas em função da carga alcalina aplicada, conforme mostra os resultados.

Os resultados de número de fibras por grama obtidos para os materiais genéticos estudados estão de acordo com a literatura, uma vez que a mesma descreve que madeiras mais densas produzem polpas com menor número de fibras por grama.

O decréscimo do coarseness de fibra e o aumento do número de fibras por grama, decorrentes da remoção de materiais das da parede células, são evidenciados pela geração de finos, conforme mostra a figura a seguir 18.

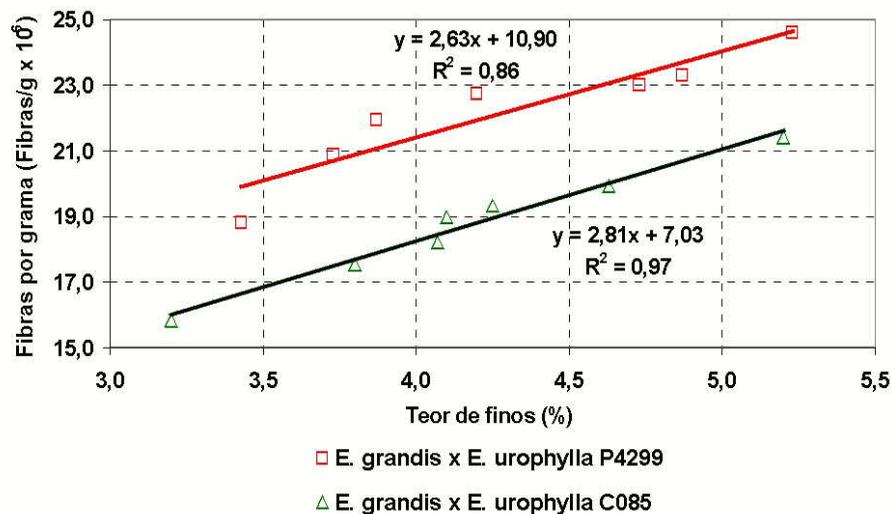


Figura 18 – Número de fibras por grama na polpa x teor de finos.

Na figura 19 encontram-se os valores de finos encontrados nas polpas celulósicas obtidas nos tratamentos realizados para os híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*.

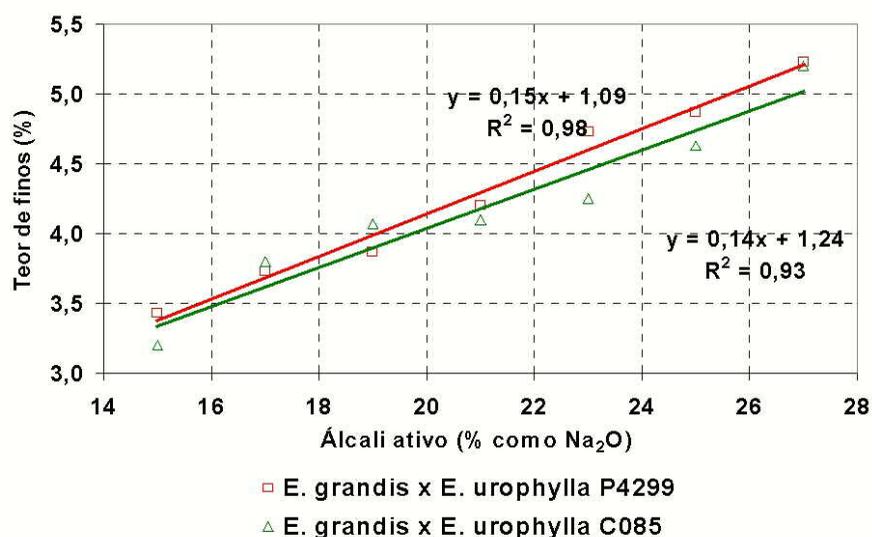


Figura 19 - Teor de finos da polpa x álcali ativo.

A figura acima mostra para os dois materiais genéticos estudados um incremento no teor de finos gerados à medida que se aumenta carga alcalina aplicada. Esses resultados estão condizentes com os valores obtidos para as dimensões de fibras, principalmente quanto ao comprimento e espessura de parede, evidenciando a remoção de materiais das células à medida que se adiciona maior quantidade de álcali ativo nos cozimentos.

## 4. Conclusões

- Os híbridos *E. grandis* x *E. urophylla* P4299 e C085, apesar de apresentarem diferentes valores de densidade básica, apresentaram comportamento semelhantes quando submetidos à polpação Lo-Solids, o que pode estar associado à eficiência da fase de impregnação deste tipo cozimento, indicando também a possibilidade de uso de madeiras mais densas.
- O aumento da carga alcalina proporciona uma redução do rendimento depurado e do número kappa, porém verifica-se que para carga de álcali superior a 19% não há incremento significativo do nível de deslignificação.
- A formação dos ácidos hexenurônicos é influenciada pela carga de álcali aplicada e apresenta um modelo quadrático em função da mesma e também do número kappa, sendo o ponto de máximo obtido para cerca de 17% de álcali ativo e número kappa entre 14 e 16. Portanto, estratégias visando a remoção de ácidos hexenurônicos da polpa devem considerar o grau de deslignificação (número kappa) obtido na fase de polpação, tendo em vista a influência dos mesmos no consumo de reagentes químicos eletrofilicos e também na reversão de alvura da polpa final.
- O incremento do número kappa de 16 para 18 proporciona ganho de rendimento e redução na formação de ácidos hexenurônicos, podendo favorecer ainda favorecer a eficiência do estágio subsequente de deslignificação devido o kappa lignina.
- Verificou-se que o aumento da carga alcalina promove a fragmentação das células, aumento no teor de finos e redução no comprimento de fibra, na espessura de parede e, conseqüentemente na largura de fibra.

## 5. Bibliografia

- ABITZ, P.; LUNER, P. The relationship of wet fiber flexibility (WFF) to fiber and pulps properties. ESPRI Report n° 94, 1991 p67.
- BARBOSA, F.E.V. The Eucalyptus Fiber for Printing & Writing Papers. 7<sup>th</sup> Brazilian symposium on the chemistry of lignin and other Wood Components. Belo Horizonte, 2001, 2p.
- CARPIM, M.A.; BARRICHELLO, L.E.G.; DA SILVA JUNIOR, C.E.; DE VASCONCELLOS DIAS, R.L. A influência do número de fibras por grama nas propriedades óticas do papel. XX congresso Anual de Celulose e Papel - ABTCP, São Paulo, 1987, p183.
- CHAI, X.S.; ZHU, J.Y.; LI, J. A simple and rapid method to determine hexenuronic acid groups in chemical pulp. Journal of pulp and Paper Science 27 (5): 165-169. Atlanta. 2001
- CHAKAR, F.; ALLISON, L.; RAGAUSKAS, T.; MCDONOUGH, J.; SEZZI, U. Influence of hexenuronic acids on U. S. bleaching operations. Tappi Journal, 83 (11), 2000.
- CLARK, J.D.A. Pulp technology and treatment for paper: Second Edition. San Francisco, Miller Freeman Publications, Inc., 1985.
- COLODETTE, J.L.; GOMIDE, J.L.; GIRARD, R.; et al. Influence of pulping conditions on hardwood pulp yield, quality and bleachability. In: International Pulp Bleaching Conference, Halifax, Proc., PAPTAC, Montreal, 200, p.41-48.
- COSTA, M. M Da; MOUNTEER, A. H.; COLODETTE, J. L. Ácidos Hexenurônicos: parte I: origem, quantificação, reatividade e comportamento durante a Polpação Kraft. Revista O Papel, 2001. V. 5. 11p.
- DEMUNER, B.J.; VIANNA DORIA, E L; DA SILVA JUNIOR, C E.; MANFREDI, V. As Propriedades do Papel e as Características das Fibras de Eucalipto. 24° Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, São Paulo, 1991, 20p.
- DEMUNER, B.J.; VIANNA DORIA, E. L.; DA SILVA JUNIOR, C. E.; MANFREDI, V. The influence of eucalypt fiber characteristics on paper properties. In: International Paper Physics Conference, Tappi, Kona - Hawaii, 1991, 12p.
- FOELKEL, C.E.B.; DINIZ, A.S.; GARCIA, W.; MARIO, F. Estudo da Influência da Densidade da Madeira nas Propriedades das Celuloses Kraft de *p ellioti* obtidas a uma mesma condição de cozimento. Revista O Papel – ABTCP, São Paulo, 1975, 5p.
- FOELKEL, C.E.B.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice da na qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. Revista O Papel – ABTCP, São Paulo, 1992, Vol. 53, n. 5, 6p.
- FOELKEL, C. Eucalyptus wood and pulp quality Requirements oriented to the manufacture of tissue and printing & writing paper, 52<sup>nd</sup> APPITA Annual General Conference, Brisbane, Australia, vol. 1, 1998, 5p.
- GANQIANG, H.; ZENG, ZHANG; KETAO, H. at al. Modified kraft pulping of eucalyptus wood. Statd Key Lab. Of Pulp and Paper Engineering, South Chine University of Technology, China 510641.
- GENGO, J.M.; BUSAYASAKUL, N.; MEDHORA, H.K.; ROBBINS, W. Hemicellulose retention during kraft pulping. Tappi Journal, Atlanta, 1990, V. 73, 11p.
- GIDNERT, E.B.; TOMAI, P.E.; DAHLMAN, O. Influence on pulp quality of conditions during the removal of hexenuronic acids. Nordic Pulp and Paper Research Journal, 1998, Vol. 13, 7p.

- GONÇALVES, C. The eucalyptus fiber for tissue papers. 7<sup>th</sup> Brazilian symposium on the chemistry of lignin and other wood components. Belo Horizonte, 2001, 7p.
- JIANG, Z.H.; LIEROP, B.V.; BERRY, R. Hexenuronic acid groups in pulping and bleaching chemistry. Tappi Journal, 2000, Vol. 83, No.1, 9p.
- MARCOCCIA, B.S.; STROMBERG, B.; PROUGH, J.R. Achieving major increases in hardwood yield with Lo-Solids cooking. In: Breaking the pulp yield barrier symposium. Tappi Journal, Atlanta, 1998, 11p.
- MARCOCCIA, B.S. et al. Continuous cooking applications. Papermaking science and technology, Book A, 2 V., Chapter 6 pp A512-A5702, 2000.
- MCDONOUGH, T.J. Kraf pulp yields basics. In: Breaking the Pulp Yield Barrier Symposium, TAPPI, Atlanta, 1998, 9p.
- KUBES, G.J.; MACLEOD, J.M.; FLEMING, B.I. et al. The viscosity of unbleached alkaline pulps. Pulping Conference Proceedings, Denver, 1980, 4p.
- RATNIEKS, E.; FOELKEL, C. Uma discussão teórica -prática sobre polpas de eucalipto para a fabricação de papel "Tissue". 29<sup>o</sup> Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, São Paulo, 1996, 18p.
- SETH, R.S. Fiber quality factors in papermaking. I the importance of fiber length and strength. In: Mat. Res. Symposium Vol 197 1990.
- SILVA, M.R.; MOUNTEER, A.; COLODETTE, J. L. Ácidos Hexenurônicos. Parte II: Remoção e impacto na branqueabilidade e qualidade de polpa e no processo de branqueamento. Revista O Papel, 2002. V. 7. 8p.
- SILVA JÚNIOR, F.G.; MCDONOUGH T.J., Polpação Lo\_Solids de eucalipto: Efeito do ritmo de produção. 34<sup>o</sup> Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, São Paulo, 2001, 7p.
- SILVA JÚNIOR, F.G. Polpação kraft do eucalipto com adição de antraquinona, polissulfeto e surfactante. Campinas, 1997. 117p. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas.
- SILVA JÚNIOR, F.G.; MUNER, J.C.G.; VALLE, C.F. Programa de qualidade da Madeira da Votorantim Celulose e Papel . 28<sup>o</sup> Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, São Paulo, 1995, 15p.
- SJOBLOM, K.; MJOBERG, J. & HARTLER, N. Extended delignification in Kraft cooking through improved selectivity Part 3. The effect of dissolved xylan on pulp yield. Nordic Pulp and Paper Research Journal No. 1, 1998, 4p.
- SJOSTROM, E. The behavior of wood polysaccharides during alkaline pulping process. Tappi, Vol. 60, No. 9, 1977, 4p.
- STEADMAN, R.K. and LUMER, P. The effect of wet fiber flexibility of sheet apparent density. In: Transactions of the 8<sup>th</sup> fundamental Research symposium, Oxford 1985 p311.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY – CD-ROM. 1998-1999 TAPPI Test Methods (compact disc). Atlanta, TAPPI, 1999.